

## 異種騒音による読書妨害

## 非定常騒音の評価に関する研究 III

正 会 員 矢 野 隆\*  
正 会 員 小 林 朝 人\*\*

## 1. はじめに

騒音評価に際しての  $L_{eq}$  の基本評価指標としての有効性が認められ、ISO や JIS、その他多くの国々の騒音評価指標に採用されている。しかし、 $L_{eq}$  は単一の音源による騒音の評価には有効であるが、異なる音源による騒音の評価の比較や複合騒音の評価に対してはその適用の妥当性が疑問視され、多数の調査や実験によって、このことが立証されてきた。この節ではこれらの研究の概要を示し、本研究の目的を述べる。

異なる音源からの騒音や、複合騒音のアノイアンス評価に関する研究の大多数は交通騒音—主に、航空機騒音・道路交通騒音・列車騒音—を対象としている。例えば、Fields と Walker<sup>1)</sup> は 1961～1976 年の間にイギリスで行われた 1 つの鉄道騒音調査・2 つの道路交通騒音調査・3 つの航空機騒音調査の合計 6 つの調査を比較して、これらの騒音間のアノイアンス<sup>2)</sup> 反応の相違を検討した。その結果、同じ騒音レベル (NNI, 24 h  $L_{eq}$ ) でも鉄道騒音は他の騒音に比べてうるさく<sup>3)</sup> なく、騒音レベルの変化に伴うアノイアンス変化のこう配もゆるやかであり、また道路交通騒音は航空機騒音よりうるさくないことを見出した。さらに、これらの原因についても考察している。

Hall ほか<sup>2)</sup> は従来の比較研究が長年にわたって行われた多くの異なる調査に依存しなけりなかつたのに対して、トロント国際空港周辺での同一の調査を基にして、道路交通騒音と航空機騒音に対する住民反応を直接比較した。そして、これらの騒音の  $L_{an}$  が同じでも、道路交通騒音より航空機騒音の方がアノイアンスは大きいことを示した。Knall と Schuemer<sup>3)</sup> は 1978～1979 年に西ドイツで行われた鉄道騒音と道路交通騒音の調査分析から、鉄道騒音は道路交通騒音よりもうるさくなく、同

程度のアノイアンスを得るには鉄道騒音の  $L_{eq}$  は道路交通騒音より 4～5 dB(A) 高くなければならぬとした。

Åhrlin と Rylander<sup>4)</sup> は 1969～1978 年にわたって行われたスカンジナビアでの航空機・自動車・列車・市電の騒音調査に基づいて、これらの騒音によって生じる生活活動妨害 (activity interference) を比較した。例えば、会話妨害の程度は列車騒音が最大で、航空機騒音がこれに続き、道路交通騒音と市電騒音が最小であった。休憩や睡眠妨害の程度は鉄道騒音が最大で航空機騒音が最小であった。これらは住民が示したアノイアンス反応の大小によって、住民を高アノイアンスと低アノイアンスの反応別の 2 グループに分けて、種々の生活活動妨害の指摘率を比較したものであり、騒音レベルは示されておらず、他の研究と直接比較することはできない。

Hall<sup>5)</sup> は以上の研究<sup>1)～4)</sup> に加え、他のいくつかの研究も含めて、航空機騒音・道路交通騒音・列車騒音のアノイアンス評価の総括を行った。そして、鉄道騒音に対するアノイアンス反応は道路交通騒音や航空機騒音に対する反応より一貫して低く、航空機騒音のアノイアンスが道路交通騒音のアノイアンスよりも大きいことを見出した。

以上の研究は社会調査に基づくものであるが、Rice<sup>6)</sup> は実験室実験によって、航空機騒音と道路交通騒音の、それぞれ単独のアノイアンス評価には  $L_{eq}$  (dB(A)) が最適であるが、これらの複合音のアノイアンス評価には  $L_{eq}$  (dB(A)) は適用できないことを示した。また、 $L_{eq}$  に種々の補正を加えてもアノイアンス評価との相関は有意に向上しないこと、さらに、等  $L_{eq}$  値では道路交通騒音は航空機騒音よりもうるさいことを示した。なお、この研究では航空機騒音と道路交通騒音の等  $L_{eq}$  でのアノイアンス評価順位は他の多くの研究とは異なっている。

泉<sup>7)</sup> は道路交通騒音と航空機騒音のおのおのの単独評価実験および両者の複合評価実験を行った。その結果、道路交通騒音および航空機騒音の単独評価は  $L_{eq}$  (dB(A)) によって行えるが、複合騒音の全体の不快感は  $L_{eq}$  (dB(A)) では評価し得ないことを示した。また、航空機騒音のアノイアンスは  $L_{eq}$  70 (dB(A)) ぐらい

注) 原論文で“annoyance”という表現が用いられている場合には、ここでは“アノイアンス”という用語を使い、“annoyed”または“annoying”が用いられている場合には“うるさい”という用語を当てた。

本論文の一部は文献 26) で発表した。

\* 熊本大学 助手

\*\* 熊本大学 教授・工博

(昭和 61 年 4 月 10 日原稿受理)

までは道路交通騒音のアノイアンスよりも高いことを示しており、Rice<sup>6)</sup>の知見とは異なるものの、他の多くの調査研究と一致する結果を報告している。

以上の研究は交通騒音を対象としているが、Vos と Smoorenburg<sup>8)</sup>らは衝撃騒音と道路交通騒音のアノイアンス比較実験を行い、道路交通騒音を基準にすると、衝撃騒音には低暗騒音状態 ( $L_{eq}$  35 dB(A)) で 10 dB、高暗騒音状態 ( $L_{eq}$  55 dB(A)) では 5 dB のペナルティが必要であると結論した。

これらの研究から、交通騒音は、それが等  $L_{eq}$  であっても、航空機騒音・道路交通騒音・列車騒音の順にアノイアンスが大きいたことが示唆される。これに対して道路交通騒音などと衝撃騒音とのアノイアンス比較は研究報告も多くはなく、まだ明らかであるとはいえない。

一方、これらの異種音源の騒音のアノイアンス比較や複合騒音のアノイアンス評価を行った研究とともに、これらの評価モデルが多数提案されている。

Rylander は<sup>9)</sup>スカンジナビアでの航空機騒音の調査分析からアノイアンスとピーク dB(A) の間に高い相関が認められることを見出し、騒音評価モデルとして当時普及し始めたエネルギー概念に代わって、ピーク概念を提案した。

Powell<sup>10)</sup>は複合騒音環境のアノイアンスは個々の騒音源によるアノイアンスの主観的大きさの加算と、他の騒音の存在による主観量の抑制によって表されるという加算と抑制のモデルを提案した。また、航空機騒音と道路交通騒音の評価実験によって、このモデルを、当時提案されていた主観量の加算モデル・エネルギー加算モデル・反応加算モデルと比較し、加算と抑制のモデルが優れていることを確かめた。Taylor<sup>11)</sup>はトロント国際空港周辺での社会調査データを用いて、Powell が比較した 4 種類のモデルにエネルギー差モデルを加えて、アノイアンスの予測精度を比較した。これら 5 つのモデルのうち、航空機騒音と道路交通騒音の複合騒音環境のアノイアンス評価の予測精度はエネルギー差モデルが最もよく、エネルギー加算モデルが最も悪かった。

Flindell<sup>12)</sup>は鉄道騒音のアノイアンスが道路交通騒音のアノイアンスより一貫して低いことに着目して、音圧  $L_{eq}$  (Pressure  $L_{eq}$ ) という指標を提案した。通常の  $L_{eq}$  はエネルギーの時間平均レベルであるが、音圧  $L_{eq}$  は音圧の時間平均レベルに相当し、通常の  $L_{eq}$  に比べて高騒音レベルの重み付けが小さくなっている。一般に鉄道騒音は道路交通騒音より高騒音レベルの分布が多いため、これらが等  $L_{eq}$  であれば、鉄道騒音の音圧  $L_{eq}$  は道路交通騒音の音圧  $L_{eq}$  より小さくなる。したがって、アノイアンスと音圧  $L_{eq}$  との相関は通常の  $L_{eq}$  の場合より向上した。しかしこの評価法では、等  $L_{eq}$  の場合に道路交通騒音より高騒音レベル部分が多い航空機騒音が、道

路交通騒音よりもうるさいという一般的な傾向を説明することはできない。

また、Gjestland と Oftedal<sup>13)</sup>は、ある騒音が聴覚閾値以下である場合や、他のうるさくない騒音の存在によって、マスキング閾値以下となる場合は、その騒音はアノイアンスに貢献しないことを考慮して、閾値  $L_{eq}$  (threshold  $L_{eq}$ ) という指標を提案した。これは騒音レベルがマスキング閾値や聴覚閾値を越える期間だけのエネルギー合計に基づいており、閾値以下の期間はエネルギーが 0 であるとして計算されている。

Rice と Izumi<sup>14)</sup>は複合騒音環境の評価に  $L_{eq}$  のような単純なエネルギー加算モデルを適用することに疑問を呈し、特定音源のアノイアンスがその音源を含む複合騒音環境全体のアノイアンスを上回る場合があることに注目して、それらの最大のアノイアンスが複合騒音環境でのアノイアンスを表すものとする卓越音源モデル (dominant source model) を提唱した。また、泉<sup>7)</sup>は複合騒音の評価実験の結果に卓越音源モデルを適用して、トータルの  $L_{eq}$  (dB(A)) によって、アノイアンスの予測がある程度の精度で可能であることを示した。

ISO 2204 や JIS Z 8731 では騒音をそのレベル変動特性から、定常騒音と非定常騒音に分け、非定常騒音を変動騒音・間欠騒音・衝撃騒音に分類し、さらに、衝撃騒音を分離衝撃騒音と準定常衝撃騒音に分けている。

以上概説してきた研究の大部分は交通騒音すなわち変動騒音や間欠騒音を対象としている。Vos ほかの研究のように衝撃騒音と道路交通騒音の比較を行ったものもあるが、まだ研究報告も少なく、今後のデータの蓄積が望まれる。統一的な騒音評価方法を確立するためには、非定常騒音全般にわたるアノイアンスの比較が必要である。

この研究の目的は ISO や JIS で分類されている代表的な騒音を対象として、実験室実験によって、非定常騒音のレベル変動特性がアノイアンスに及ぼす影響を検討することである。そして実験で得られた結果を考慮して、Flindell の音圧  $L_{eq}$  の概念を拡張し、実験結果に適用して、その有効性を検討する。なお、実験騒音の一部に複合騒音が含まれているが、本研究は異種音源による騒音のアノイアンス比較を主眼としている。

本研究は 2 シリーズの実験で構成されている。1 つは現場録音による現実騒音を対象とした読書妨害の評価実験であり、もう 1 つは現実騒音とほぼ同じレベル変動特性を与えたピンクノイズの実験音を使ったものである。現実騒音は騒音源によって周波数特性や騒音の有する意味などがそれぞれ異なっているのに対して、ピンクノイズの実験音ではほぼ一定である。すなわち、ここではレベル変動特性の影響を考察するとともに、レベル変動特性以外の要因の影響についても若干の検討を加える。

## 2. 実験

### 2.1 実験音

実験音はレベル変動特性に特徴のある現実騒音 14 例と、これらの各騒音とほぼ等しいレベル変動をするピンクノイズの合計 28 例で、他に練習用として道路交通騒音 1 例と同じくこれとほぼ等しいレベル変動をするピンクノイズを用いた。現実騒音のリストとそれらのレベル特性を Table 1 に示す。No. 5 の道路交通騒音には騒音レベルが高いバイク通過音が 2 か所含まれている。Table 1 の騒音は分離衝撃騒音 2 例 (No. 1, 2)・準定常衝撃騒音 2 例 (No. 3, 4)・変動騒音 3 例 (No. 5~7)・間欠騒音 3 例 (No. 8~10)・変動騒音と間欠騒音を合成したもの 2 例 (No. 11, 12)・定常騒音 1 例 (No. 14)・その他 1 例 (No. 13) に分類することができる。実験音の設定レベルは  $L_{eq}$  で 70 dB(A)、提示時間は 6 分間とした。

現実騒音は現場で PCM 録音したものをマスターテープとし、これを等  $L_{eq}$  となるようにレベル調節して、カセットテープにダビングして実験用テープとした。Table 1 の No. 1~7, No. 13~14 は録音したものをそのまま用いたが、No. 8 の列車騒音と No. 9 の新幹線騒音は線路沿いで録音したそれぞれ 8 個と 11 個の事象を継ぎ、No. 10 の航空機騒音は空港周辺で録音した 8 個の事象を継いで作製した。No. 11 の航空機騒音と道路交通騒音の複合騒音、および No. 12 の列車騒音と道路交通騒音の複合騒音は、練習用に用いた道路交通騒音を単独の場合より 5 dB 減少させて、航空機騒音や列車騒音と合成して作製した。ピンクノイズの実験音は現実騒音の信号をログアンプ (時定数 0.1 s, fast 相当) に通し、AD 変換してレベル値を求めた後、Fig. 1 の装置で作製した。

実験音を提示する際、現実騒音の場合には約 35 dB(A) の空調機騒音を暗騒音とし、ピンクノイズの場合には約 35 dB(A) のピンクノイズの定常音を暗騒音として常時流した。スピーカ再生音は Fig. 2 の機器の構成によっており、 $L_{eq}$  値はすべての騒音および被験者座席位置で  $70 \pm 1$  dB(A) の範囲に入っており、ほぼ期待した値が得られた。

Table 1 Acoustic data in dB(A) of real noises used in experiment

	$L_{max}$	$L_5$	$L_{50}$	$L_{95}$	s.d.
1 Pile hammer	81.6	78.5	57.5	46.9	10.9
2 Iron hammer	80.9	76.9	64.8	49.9	8.9
3 Dot printer	76.6	75.0	68.0	52.9	8.3
4 Type writer	74.7	72.7	70.5	60.5	3.7
5 Road traffic (including motorbike)	84.5	75.1	68.8	60.2	4.5
6 Road traffic (main road)	77.7	74.6	69.1	63.2	3.4
7 Road traffic (freeway)	84.2	76.0	67.0	58.1	5.7
8 Train	83.0	77.7	60.7	40.7	12.5
9 New Sanyo line	77.9	76.9	53.0	39.8	15.1
10 Aircraft	83.8	79.1	53.4	40.5	12.4
11 Aircraft+Road traffic	82.3	76.9	66.3	57.2	6.0
12 Train+Road traffic	80.2	75.6	67.0	58.0	5.7
13 Children	79.8	74.5	69.2	65.5	2.9
14 Cleaner	72.7	71.7	70.3	69.3	0.7

$L_{eq}$  の測定には積分騒音計 (RION NL-10) を使用し、騒音計の動特性は fast とした。定常騒音や変動騒音、間欠騒音は一般に fast で測定することが多く、測定値と心理量との対応もよいことが多数の研究で報告されている。一方、衝撃騒音の場合には JIS Z 8731 では fast で測定することが規定されているが、評価方法だけでなく測定方法も国際的に広く認められたものは確立されていない。しかし、衝撃騒音に fast を適用することを支持する研究も報告されている。例えば、Kumagai ほか<sup>15)</sup> は 5 ms と 125 ms の時定数のときの音圧レベルの読みが持続時間の短い衝撃音のラウドネスをよく表していることを示しており、Sørensen ほか<sup>16)</sup> は射撃場の騒音に関して dB(A) fast による測定値の場合にアノイアンスと暴露の相関が最もよいことを示している。

実験音のオクターブバンド分析結果を Fig. 3 に示す。現実騒音の周波数特性は大きく 3 つに分類し得る。1 つは交通騒音全般を代表するもので、63 Hz 付近の低周波が優勢なものである。ただし、バイクの通過音だけの特性は高周波成分が多い (Fig. 3(b))。2 つ目は中周波成分が優勢な杭打ち・タイプライタ・掃除機騒音で、もう 1 つは 2~4 kHz の高周波帯域が卓越している金鋸騒音やプリンタ騒音である。

### 2.2 被験者

聴覚に異常がないと認められる 18~26 歳の男子学生 18 名と女子学生 30 名の合計 48 名である。被験者には心理音響実験のための特別な訓練や聴力検査は行わなかった。なお、被験者には拘束時間に応じた謝金を支払った。

### 2.3 受聴条件

実験中の被験者には読書を課したが、多くの実験で使われているような自由読書は採用せず、こちらで選定した図書を、あらかじめ定められた順序で読書させた。これは、被験者の受聴状態をできるだけ均一にするため、および実験室が多くの研究で用いられている模擬居間ではなく無響室であるので、その特異な環境の影響をでき

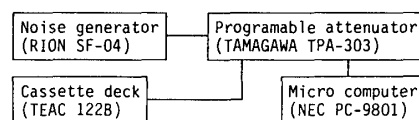


Fig. 1 Block diagram to produce experimental stimuli of pink noise fluctuating like real noises

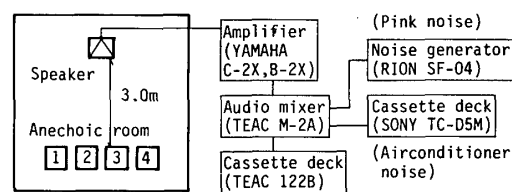


Fig. 2 Schematic outline of experimental set-ups

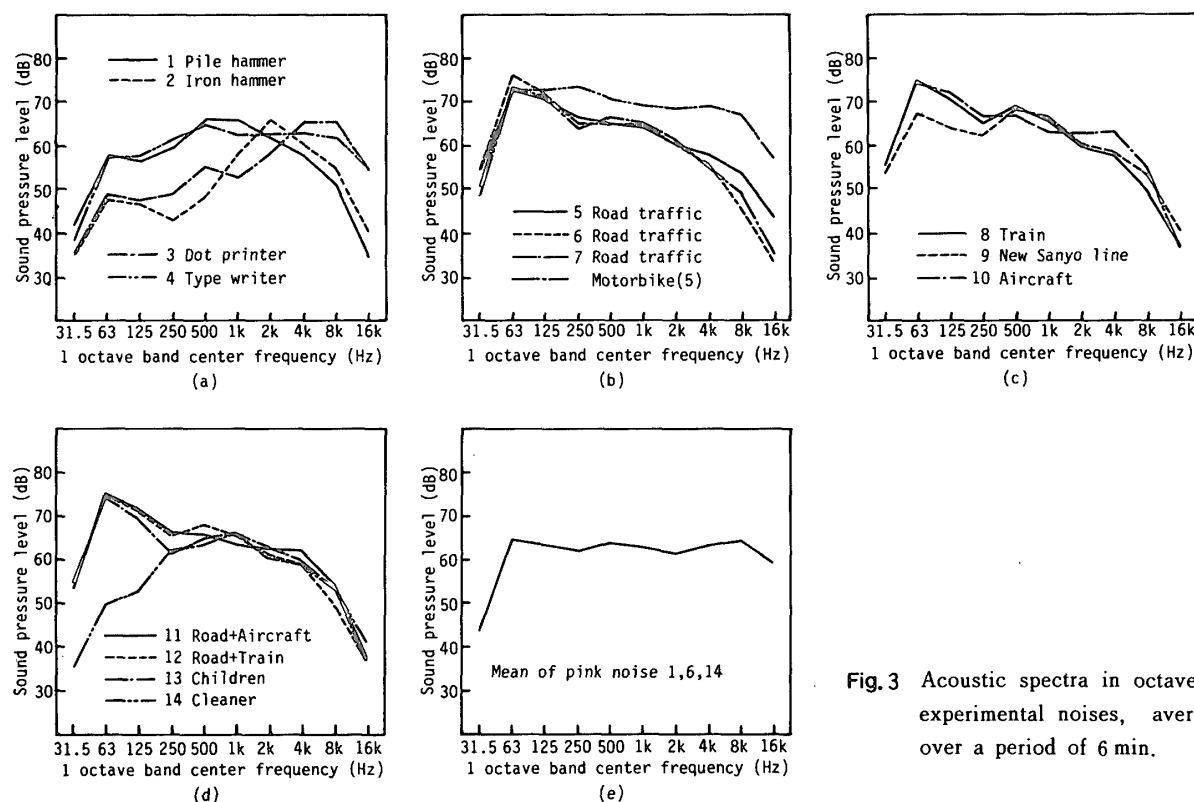


Fig. 3 Acoustic spectra in octaves of experimental noises, averaged over a period of 6 min.

るだけ除外するためである。実験に用いた図書は内容が専門的でなく、かつ難解でないと判断した一般的な読みものを30冊選んで用意した。

実験時間は6分間とした。これはできるだけ実験効率を上げるために行った読書時間に関する次のような予備実験に基づいている。すなわち、本実験とは別の13名の被験者に1～15分間の8段階の読書時間を与えて、1. 短すぎてまったく読んだ気がしない、2. 短くて読み足りない、3. 少し読み足りないがまあ読んだ気がする、4. 読書時間として適当である、5. 読書時間としては長すぎて根気が続かない、という5段階の評価を行わせたところ、3～5の指摘率は読書時間の増大とともに増加し、6分ぐらいから50%を越え、12分ぐらいまではほぼ一定との結果が得られたからである。なお、この時間はこの種の実験で採用されている時間のうちほぼ最短時間に相当している<sup>6)～8), 10)</sup>。

騒音をどういう属性に基づいて評価させるかは重要な問題である。一般的にはアノイアンス、または、うるささという属性が用いられている。この実験では被験者の判断をできるだけ容易にするために、うるささよりは意味が明確な妨害度を用いた。妨害度はアノイアンスに含まれる主要な属性であり、この実験ではこれらはほぼ同義であると考えている。なお、Hallほか<sup>2)</sup>はdisturbingをannoyedと同義で扱っており、長田<sup>17)</sup>はアノイアンスの訳に邪魔という言葉当てている。

#### 2.4 実験計画と手続

被験者48名のうち半数の24名は現実騒音、ピンクノ

イズの順序で実験を行い、残りの24名は逆順序で実験を行った。実験は4名ずつのグループごとに行い、現実騒音とピンクノイズの2シリーズの実験は被験者の都合に合わせて、当日続けて行ったグループ2組、翌日に分けて行ったグループが1組、1日置いて行ったグループが9組であった。現実騒音の実験では、最初に練習用の道路交通騒音を提示して実験の練習とし、その後ランダムな順序で14例の実験音を提示し、実験音を5回聞かせるごとに5分間の休憩を入れて、1シリーズの実験を終了するのに約2時間を要した。ピンクノイズの実験も同様の手順で行った。

妨害度の評価はFig. 4に示す7段階のカテゴリー尺度<sup>18), 19)</sup>によるカテゴリー判断法によった。実験装置の構成をFig. 2に示す。被験者には実験前に教示を与えた。すなわち、実験室内の椅子に座り、前方のスピーカから音が流れてくると、あらかじめ与えられた図書を、リラックスして、普段のスピードで内容を理解しながら読むように指示した。つぎに、実験音が終了すると、Fig. 4の尺度によって読書妨害の程度を評価するように指示した。

- |   |               |
|---|---------------|
| 1 | 全くじゃまにならない    |
| 2 | ほとんどじゃまにならない  |
| 3 | 少しじゃまになる      |
| 4 | 中程度にじゃまになる    |
| 5 | かなりじゃまになる     |
| 6 | 非常にじゃまになる     |
| 7 | とうとうもなくじゃまになる |

Fig. 4 Category scale

### 3. 結果

カテゴリーの数値尺度を、カテゴリー4を0とする距離尺度に変換した<sup>20)</sup>。Table 2にその結果を示す。カテゴリーの距離尺度と数値尺度の相関係数はともに0.99以上であり、使用したカテゴリーの数値尺度はほぼ等間隔であることがわかる。カテゴリーの距離尺度と被験者の反応分布を基にして、各音に対する妨害度の距離尺度の平均値を求めた。その結果をFig. 5(a), (b)に示す。カテゴリー5以上の指摘率なども求めたが、平均値と同様な傾向を示したため、以下の検討では平均値だけを用いる。

Fig. 5に見られるように、現実騒音もピンクノイズともに、各実験音の妨害度の距離尺度平均値の最大値と最小値の間にはほぼ1カテゴリーの差がある。各実験音に対する被験者の反応の標準偏差は距離尺度で0.95程度である。現実騒音ではNo. 14の掃除機騒音の妨害度が小さく、No. 4のタイプライタ騒音・No. 5の道路交通騒音・No. 10とNo. 11の航空機騒音・No. 13の子供の声が妨害的であり、ピンクノイズではNo. 1・No. 10・No. 11の妨害度が大きく、No. 14は小さい。このことは定常騒音より非定常騒音の方がアノイアンスが大きいという従来の研究の一般的傾向と一致している。

騒音の種類を要因とした一元配置の分散分析の結果、

Table 2 Interval scale of category

Number scale	Interval scale	
	Real noise	Pink noise
1	-2.82	-2.71
2	-1.70	-1.81
3	-0.73	-0.85
4	0	0
5	0.62	0.78
6	1.36	1.63
7	2.00	2.38

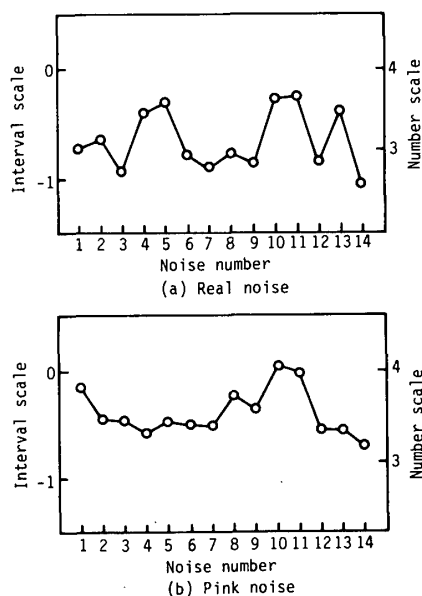


Fig. 5 Interval scale of disturbance of noises used in experiments

Table 3  $t$ -test between different noise sources

(a) Real noise	
Noise number	Noise number
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14	
1	*
2	
3	** *
4	*
5	** *
6	*
7	*
8	*
9	*
10	*
11	*
12	*
13	*
14	*
(b) Pink noise	
Noise number	Noise number
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14	
1	*
2	*
3	*
4	*
5	*
6	*
7	*
8	*
9	*
10	*
11	*
12	*
13	*
14	*

\*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$

現実騒音・ピンクノイズともに距離尺度の平均値に1%水準で有意差が認められた。また、平均値間の $t$ 検定の結果をTable 3に示す。現実騒音ではNo. 4のタイプライタ騒音・No. 5の道路交通騒音・No. 10の航空機騒音・No. 11の航空機騒音と道路交通騒音の複合騒音・No. 13の子供の声と、これら以外の騒音との間に主に有意差が見られた。また、ピンクノイズでは騒音No. 1・No. 10・No. 11とこれら以外の騒音との間に有意差が見られた。

### 4. 考察

#### 4.1 異種音源の騒音による妨害度の比較とレベル変動特性の影響

Fig. 6にピンクノイズと現実騒音の妨害度の距離尺度平均値の相関関係を示した。騒音の妨害度にはさまざまな要因が影響するが、A特性で測定して等 $L_{eq}$ である騒音による妨害度が、もしそのレベル変動によって決まるとするならば、レベル変動特性が等しい現実騒音とピン

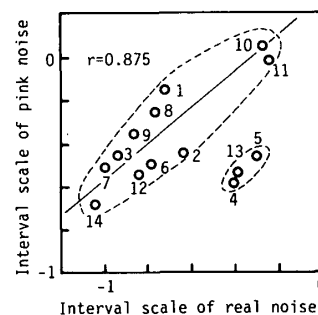


Fig. 6 Correlation between interval scale of pink noise and that of real noise

クノイズの妨害度の距離尺度は相互に単純な比例の関係にあり、Fig. 6 では各点が直線上に並ぶはずである。Fig. 6 では多くの実験音が直線関係を示すグループを構成しているのに対して、これから離れた位置に少数の実験音のサブグループ (No. 4, 5, 13) がある。これら全体の相関係数は 0.481 と低いものの、サブグループを除いた相関係数は 0.875 とかなり高い。

No. 4 のタイプライタ騒音はプリンタ騒音とレベル変動特性は類似しているが、周波数特性は、No. 3 のプリンタ騒音は高周波成分が多く、低周波成分が少ないのに対して、No. 4 のタイプライタ騒音はプリンタ騒音より低周波成分が多く、より平坦な特性である。No. 5 の道路交通騒音には騒音のレベルが高いバイク通過音が 2 回含まれ、それらのピークレベルは最大 85 dB(A) に達している。また、バイク通過音だけの周波数分析結果は Fig. 3(b) に示すように、道路交通騒音全体の周波数特性よりも高周波成分が多く、全周波数にわたってより平坦な特性である。これらのことから No. 4 と No. 5 のタイプライタ騒音と道路交通騒音が Fig. 6 の直線関係からずれている主な原因は周波数特性の違いや周波数特性の変化であると考えられる。また、No. 13 の子供の声は周波数特性の影響よりむしろその音が有する意味のような情緒的な要因が影響しているものと考えられる。

Fig. 5(a), (b) に見られるように、両図に共通して妨害度の尺度値が大きいのは No. 10 と No. 11 の航空機騒音と航空機騒音を含む複合騒音およびこれらを模擬したピンクノイズである。Fields ほか<sup>1)</sup>や Hall<sup>5)</sup> の調査研究では交通騒音のうち航空機騒音が最もうるさいことを指摘しており、泉<sup>7)</sup>の実験結果でも航空機騒音は道路交通騒音よりうるさいことが報告されている。本研究の結果はこれらの研究結果とも一致している。また、Fields ほか<sup>1)</sup>や Hall ほか<sup>2)</sup>は鉄道騒音は道路交通騒音よりうるさくないことを示しており、Knall ほか<sup>3)</sup>も同様の結論を得ている。また、Fields ほかは鉄道騒音のアノイアンスが小さいのは鉄道騒音の特性と鉄道騒音に対する住民の肯定的な態度に起因するかもしれないと述べている。しかし、今回の実験の結果では道路交通騒音と列車騒音の妨害度には顕著な差は見られない。その原因を明確にすることは困難であるが、社会調査においては種々の社会的要因が作用しているためと考えている。

Vos ほか<sup>8)</sup>は、アノイアンス評価において衝撃騒音は道路交通騒音に対してペナルティが必要であることを示している。Vos ほかの用いた衝撃騒音にほぼ相当するのは No. 1 の杭打ち騒音である。この杭打ち騒音と道路交通騒音の現実騒音相互間に妨害度に著しい差は見られないが、これらとレベル変動が等しいピンクノイズでは前者がより有意に妨害的である。Fig. 5(b) を見る限りでは No. 3・No. 4 の準定常衝撃騒音 (プリンタ騒音・

タイプライタ騒音と等しいレベル変動をするピンクノイズ) の妨害度は変動騒音や定常騒音と変わらないようである。

Taylor ほか<sup>21)</sup>や Hawkins ほか<sup>22)</sup>の社会調査に基づく研究では暗騒音のアノイアンスへの影響がないことが報告されているが、Rice<sup>23)</sup>や Vos ほか<sup>8)</sup>の実験室実験では暗騒音レベルが増すと、アノイアンスが減少することが示されており、社会調査の結果とは同じ傾向を示していないようである。今回は暗騒音の条件を変えて実験を行っていないので、その影響について述べることはできないが、今後、検討すべき重要な問題である。また、本研究は複合騒音の評価を主眼にしていないので、複合騒音について系統的な実験条件を設定しなかった。航空機騒音および列車騒音と道路交通騒音を合成したものを 1 例ずつ用いただけである。これらの妨害度は航空機騒音や列車騒音単独のものと変わらず、優勢な騒音によって決まっているようである。

Fig. 5 で特に注目されるのは、No. 10 の航空機騒音と No. 11 の航空機騒音を含む複合騒音、およびこれらと等しいレベル変動をするピンクノイズは、周波数特性がおのおの異なる現実騒音だけでなく周波数特性が一定のピンクノイズでも、ともに妨害度が大きいことである。これはレベル変動特性が大きく影響しているためと考えられる。

レベル変動の影響をどのように考慮するのが適切であるかを検討するために、主な騒音評価指標と妨害度の相関関係を求め、Table 4 に示した。現実騒音では 14 例全部の騒音に対する相関係数は全般に低いが、No. 4・No. 5・No. 13 (プリンタ騒音・タイプライタ騒音・子供の声) を除いた 11 騒音では、パーセンタイル値が小さい時間率騒音レベルについては 0.6 以上の相関が得られている。一方、ピンクノイズでは現実騒音に比べて全般に相関が高く、特にレベル変動の処理方法が複雑な騒音評価指標よりもパーセンタイル値が小さい時間率騒音レベルや 90 % レンジとの相関が高い。このことは騒音の妨害度に高騒音レベルの寄与が大きいことを示しており、非定常騒音全般のレベル変動の取扱いに対するピーク概念の有用性を示唆している。Hall ほか<sup>2)</sup>も航空機騒

Table 4 Correlation between disturbance scale and noise indices

Index	14 real noises	11 real noises	14 pink noises
L <sub>max</sub>	0.414	0.641	0.579
L <sub>1</sub>	0.266	0.684	0.784
L <sub>5</sub>	0.251	0.645	0.844
L <sub>10</sub>	-0.103	0.213	0.525
L <sub>50</sub>	-0.0279	-0.377	-0.702
L <sub>90</sub>	0.0288	-0.324	-0.670
L <sub>95</sub>	-0.0485	-0.355	-0.676
L <sub>5</sub> -L <sub>95</sub>	0.0897	0.422	0.723
L <sub>10</sub> -L <sub>90</sub>	-0.0388	0.315	0.664
TNI	-0.416	0.312	0.661
L <sub>np</sub>	-0.0266	0.299	0.646
L <sub>eq</sub> ' *	-0.0254	0.00329	0.0720
L <sub>tr</sub>	-0.138	-0.456	-0.611

\* After Muller<sup>24)</sup>

音のアノイアンスが道路交通騒音のアノイアンスより大きいのは同じ  $L_{an}$  でも航空機騒音の最大レベルやレベル変動が道路交通騒音より大きいことに起因しているかもしれないと述べており、筆者らの知見と一致している。

等  $L_{eq}$  の場合、レベル変動が大きい騒音ほど、すなわち、最大レベルが大きい騒音ほど妨害度も大きく、騒音評価指標にこれらの効果を考慮することが必要であると結論できる。

なお、以上は騒音の設定レベルが  $L_{eq}$  70 dB(A) の 1 条件についてだけの今回の実験に基づく検討であるが、広範囲な  $L_{eq}$  での詳細な傾向を得るには広範囲の騒音レベルについての実験と検討が必要である。

#### 4.2 今回の実験結果を考慮した騒音評価モデルの一例

騒音評価指標が具備すべき条件として、

- 1) この研究で得られた結果からは、騒音の最大レベルや変動幅の効果が考慮されていること、
- 2) 騒音評価に関する多くの研究の現状からは、 $L_{eq}$  が基本評価量であること、
- 3) 実用上の観点からは、できるだけ単純な形で表されること、

などを挙げることができる。

これらを考慮した指標は  $L_{eq}$  になんかの補正を加えることによって、いくつも提案することが可能である。ここでは、Flindell<sup>12)</sup> が提案した音圧  $L_{eq}$  の概念を拡張して適用すれば、異種騒音のアノイアンスが等  $L_{eq}$  でも異なることや、その差は  $L_{eq}$  の値が変化すると異なること、および暗騒音の影響を説明できることを例示する。

Flindell<sup>12)</sup> は短時間のラウドネスや騒音性の聴力損失は音響エネルギーに比例するけれども、それと同じ関係が騒音による生活妨害 (community noise nuisance) に適用されるべきであるという理由はないとして、次式で  $k=20$  とすることを提案した。

$$\text{Index} = k \log_{10} \left| \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} 10^{L(t)/k} dt \right| \dots\dots (1)$$

ここで、 $L(t)$  は A 特性の騒音レベルである。(1) 式で  $k=10$  とすれば、この式は通常の  $L_{eq}$  を表すが、 $k=20$  とすれば、音圧に関する平均レベル、すなわち音圧  $L_{eq}$  となる。Flindell のこの提案は前述したように鉄道騒音と道路交通騒音のアノイアンス差を説明するには都合がよいが、航空機騒音が道路交通騒音よりもうるさいという一般的な傾向を説明することはできない。今回の実験では現実騒音とこれと同じレベル変動をするピンクノイズの両方で航空機騒音は道路交通騒音よりも妨害的であったが、列車騒音と道路交通騒音には顕著な差は見られなかった。

(1) 式で  $k$  の値を 10 以下にすれば、通常の  $L_{eq}$  に比べて、高騒音レベルの加重を大きくすることになり、

$k$  の値が小さいほど高騒音レベル部分の加重は大きくなる。このことは Rylander ほか<sup>9)</sup> のピーク概念を一部包含することにもなる。このため  $k$  の値を 10 から 3 まで 1 ステップで変化させて、実験で得られた妨害度と (1) 式の指標値との相関係数を求めると、ピンクノイズでは  $k=7$  で最大、14 騒音全部の現実騒音では  $k=3$  で最大、No.4 のタイプライタ騒音・No.5 の道路交通騒音・No.13 の子供の声を除いた 11 個の現実騒音では  $k=4$  で最大となった。そのときの相関係数はそれぞれ 0.882・0.510・0.739 であった。相関係数は現実騒音ではあまり高くないが、ピンクノイズではかなり高く、この方法が各騒音の妨害度の相違をかなり説明しているものと考えられる。

$k$  の値は実用的には固定的に考えた方が都合がよいが、 $k$  が  $L_{eq}$  の値や暗騒音レベルが小さくなるにつれて、減少するようにすれば、アノイアンスが騒音レベルの増減によって、どのように変化するかを検討した他の研究の知見とも一致してくる。例えば、佐藤ほか<sup>25)</sup> は繰り返し衝撃音のノイジネスをエネルギー効果に衝撃効果を加えたものとして表しているが、衝撃効果は  $L_{eq}$  が大きくなるにしたがって減少して、最終的には 0 となり、エネルギー効果だけで表せることを示している。泉<sup>7)</sup> は等  $L_{eq}$  の航空機騒音と道路交通騒音のアノイアンス差が低騒音レベルで大きく、高騒音レベルになるにしたがって小さくなることを示した。これらの研究では、騒音レベルが大きいほど、レベル変動特性のアノイアンスへの効果は小さくなり、異種音源による騒音のアノイアンス差も小さくなる傾向を示しているが、逆の傾向を示す研究<sup>2)</sup> も報告されている。騒音のエネルギーが大きくなれば、レベル変動特性や音源の相違よりもエネルギーそのものによるアノイアンスの効果が大きくなると考えるのが妥当であるから、前者の傾向がより合理的であると思われる。また、Vos ほかは暗騒音レベルが大きい場合よりも小さい場合の方が道路交通騒音に対する衝撃騒音のパナルティが大きいことを報告している。

これらの研究結果は (1) 式の  $k$  の値を測定期間の  $L_{eq}$  値や暗騒音レベルとともに変化させることによって説明できる。また、 $k$  をマスキング閾値レベルとともに変化させれば、Gjestland ほか<sup>13)</sup> の閾値  $L_{eq}$  の概念を包含することもできる。しかし、どの要因によって  $k$  の値を求めるかを決定するには、さらに研究が必要である。

Fig.7 は今回の実験結果から  $L_{eq}$  を基準とした (1) 式の Index の値が  $k$  とともにどのように変化するかを、最も妨害的な No.10 の航空機騒音、最も妨害的でない No.14 の掃除機騒音、およびそれらの中間の No.6 の道路交通騒音について示したものである。No.14 の掃除機騒音 (定常騒音) の場合には Index の値はほとんど変わらないが、非定常騒音の場合には  $k < 10$  では変動

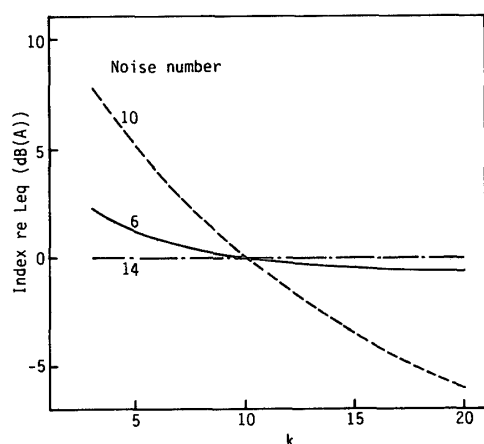


Fig. 7 Relation between index re  $L_{eq}$  (dB(A)) and  $k$ . Calculation of the three curves are based on 3600 sets of data of instantaneous sound levels sampled at 0.1 s intervals

幅の大きい騒音が上位を占め、 $k$ の値が小さいほど騒音間の差が大きいことを示している。

以上の検討は限られた騒音を対象とした実験データに基づいており、騒音レベルは70 dB(A)に限定されている。Fig. 7のレベル変動の評価量が妥当な値であるかどうかは今後の研究課題である。しかし、この指標は他の研究の傾向を合理的に説明しており、騒音のアノイアンスをよりよい精度で予測できる可能性を有している。

## 5. まとめ

本研究は  $L_{eq}$  一定の異種騒音の妨害度比較を、現実騒音14例とこれと等しいレベル変動をするピンクノイズ14例を対象として、騒音のレベル変動特性に着目して行った。結果の要旨は次のとおりである。

- 1) 交通騒音の中で航空機騒音が最も妨害的である。これは他の研究結果と合致する。
- 2) 種々の騒音調査では列車騒音は道路交通騒音よりうるさくないことが報告されているが、今回の結果ではこのような系統的な差は見られなかった。
- 3) ピンクノイズでは航空機騒音と同じレベル変動をするものが最も妨害的であり、次いで変動幅が大きい分離衝撃騒音が妨害的である。また、準定常衝撃騒音や変動騒音や定常騒音の妨害度尺度値には有意な差はなかった。
- 4) 現実騒音・ピンクノイズともに妨害度尺度値と  $L_1$  や  $L_5$  などのパーセンタイル値が小さい時間率騒音レベルの間にかなり高い相関が見られた。
- 5) このことは騒音全体の妨害度が高騒音レベル部分が寄与していることを示し、ピーク概念の有効性を示唆している。
- 6) Flindell が提案した音圧  $L_{eq}$  の概念を拡張して適用すると、本研究の結果および他の研究の知見を合理的に説明することができる。すなわち、騒音の  $L_{eq}$  が等しくても高騒音レベルが多い騒音は少ない騒音よりも妨害

的であること、騒音源が異なれば騒音レベルの増大に伴うアノイアンスの増加傾向が異なること、および暗騒音のアノイアンスへの影響がよく説明できる。

## 謝 辞

本研究を行うに当たり、当研究室の卒論生各位の協力を得た。また、本研究の一部は昭和59、60年度文部省科学研究費補助金奨励研究(A)の援助によった。記して感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) Fields, J. M. and Walker, J. G. : Comparing the Relationships between Noise Level and Annoyance in Different Surveys : A Railway Noise vs. Aircraft and Road Traffic Comparison, J. Sound Vib., 81(1), pp. 51-80, 1982
- 2) Hall, F. L., Birnie, S. E., Taylor, S. M. and Palmer, J. E. : Direct Comparison of Community Response to Road Traffic Noise and to Aircraft Noise, J. Acoust. Soc. Am., 70(6), pp. 1690-1698, 1981
- 3) Knall, V. and Schuemer, R. : The Differing Annoyance Levels of Rail and Road Traffic Noise, J. Sound Vib. 87(2), pp. 321-326, 1983
- 4) Åhrlin, U. and Rylander, R. : Annoyance Caused by Different Environmental Noises, J. Sound Vib., 66(3), pp. 459-462, 1979
- 5) Hall, F. L. : Community Response to Noise : Is All Noise the Same ?, J. Acoust. Soc. Am., 76(4), pp. 1161-1168, 1984
- 6) Rice, C. G. : Development of Cumulative Noise Measure for the Prediction of General Annoyance in an Average Population, J. Sound Vib., 52(3), pp. 345-364, 1977
- 7) 泉 清人 : 複合騒音の不快感の評価に関する一連の実験, 日本建築学会環境工学委員会音環境分科会第26回シンポジウム, pp. 29-38, 1985
- 8) Vos, J. and Smoorenburg, G. F. : Penalty for Impulse Noise, Derived from Annoyance Ratings for Impulse and Road-traffic Sounds, J. Acoust. Soc. Am., 77(1), pp. 193-201, 1985
- 9) Rylander, R., Sörensen, S. and Berglund, K. : Re-analysis of Aircraft Noise Annoyance Data against the dB(A) Peak Concept, J. Sound Vib., 36(3), pp. 399-406, 1974
- 10) Powell, C. A. : A Summation and Inhibition Model of Annoyance Response to Multiple Community Noise Sources, NASA Technical Paper 1479, 1979
- 11) Taylor, S. M. : A Comparison of Models to Predict Annoyance Reactions to Noise from Mixed Sources, J. Sound Vib., 81(1), pp. 123-138, 1982
- 12) Flindell, I. H. : Pressure  $L_{eq}$  and Multiple Noise Sources : A Comparison of Exposure-response Relationships for Railway Noise and Road Traffic Noise, J. Sound Vib., 87(2), pp. 327-330, 1983
- 13) Gjestland, T. and Oftedal, G. : Assessment of Noise Annoyance : The Introduction of a Threshold Level in



- $L_{eq}$  Calculations, J. Sound Vib., 69( 4 ), pp.603-610, 1980
- 14) Rice, C. G. and Izumi, K. : Annoyance due to Combinations of Noises, Acoustics '84 Spring Conference, pp.287-294, 1984
  - 15) Kumagai, M., Ebata, M. and Sone, T. : Comparison of Loudness of Impact Sounds with and without Steady Duration (A Study on the Loudness of Impact Sound. II), J. Acoust. Soc. Jpn (E), 3( 1 ), pp.33-40, 1982
  - 16) Sörensen, S. and Magnusson, J. : Annoyance Caused by Noise from Shooting Ranges, J. Sound Vib., 62( 3 ), pp.437-442, 1979
  - 17) Kryter, K. D., 長田泰公抄訳 : 心理学的並びに生理学的音響学の展望, 日本音響学会誌, 42( 1 ), pp.74-80, 1986
  - 18) Levine, N. : The Development of an Annoyance Scale for Community Noise Assessment, J. Sound Vib., 74( 2 ), pp.265-279, 1981
  - 19) Brown, A. L., Hall, A. and Kyle-litte, J. : Response to a Reduction in Traffic Noise Exposure, J. Sound Vib., 98( 2 ), pp.235-246, 1985
  - 20) ギルホード, J. P., 秋重義治監訳 : 精神測定法, 培風館, 1959
  - 21) Taylor, S. M. et al. : Effect of Background Levels on Community Responses to Aircraft Noise, J. Sound Vib., 71( 2 ), pp.261-270, 1980
  - 22) Hawkins, M. M. and Large, J. B. : Subjective Response to Noise in Rural Villages, Particularly from Road Traffic, J. Sound Vib., 88( 3 ), pp.321-331, 1983
  - 23) Rice, C. G. : Subjective Assessment of Transportation Noise, J. Sound Vib., 43( 2 ), pp.407-417, 1975
  - 24) Muller, J. L. : Assessment of Annoyance due to Varing Noise Levels with Particular Reference to Aircraft Noise, J. Sound Vib., 19( 3 ), pp.287-298, 1971
  - 25) 佐藤哲身, 泉 清人 : 繰り返し衝撃音のノイジネス評価に関する実験, 日本音響学会誌, 38 巻 10 号, pp.609-618, 1982
  - 26) 矢野 隆, 小林朝人 : 非定常騒音による読書妨害, 日本建築学会研究報告九州支部, 第 29 号, 2, pp.21-24, 1986

## SYNOPSIS

UDC : 534.83 : 628.517

### DISTURBANCE OF READING BY NOISES FROM VARIOUS SOURCES

#### A study on evaluation of non-steady noises III

by TAKASHI YANO and Dr. ASATO KOBAYASHI,  
Members of A. I. J.

Two experiments were carried out to compare disturbance of reading by noises from various sources. Fourteen real noises were selected in one experiment, which were two isolated bursts of sound energy, two quasi-steady impulsive noises, three fluctuating noises, three intermittent noises, two noises from mixed noise sources, one steady noise and the other noise. These noises except for the mixed noises are typical ones classified in ISO 2204 according to level fluctuation. In another experiment, fourteen simulated pink noises were used and their sound levels fluctuated in the same way as those of real noises.  $L_{eq}$  of these noises were equal to about 70 dB(A) and their duration were six minutes.

It was found that high disturbance was caused by noises which greatly fluctuated, that is, more contained high sound level even in equal  $L_{eq}$ . These noises are an aircraft noise, a complex noise which contained aircraft noise and their simulated pink noises. There was high correlation between disturbance and percentile levels like  $L_1$  or  $L_5$  of experimental noises both in real noise and particularly in pink noise. These support the dB(A) peak concept proposed by Rylander et al. It is therefore suggested that unified noise index should contain this finding.

In addition, a tentative noise index which could evaluate noises from various sources was shown. The concept of Flindell's pressure  $L_{eq}$  was extended and applied to this index. Using this index, it is possible that findings of other researches are reasonably accounted for.